

Н. М. НИМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, Н. С. ЦАПКО**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДЕЯКИХ МОДЕЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИХ ВОД НАФТОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ**

У матеріалах статті розглянуті можливості визначення моделей екологічно-безпечних процесів дослідження супутньо-пластових вод нафтоконденсатних родовищ. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих комплексних технологій галузі: 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей компонентів; 2) на різних стадіях проектування і обґрунтування моделей устаткування. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів технології. Проблеми створення екологічно-безпечних технологій розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових. Проаналізовано умови застосування властивостей моделей та їх параметри, сформовано рекомендації для вибору моделі конкретного середовища.

Ключові слова: екологічно-безпечні моделі; комплексні технології галузі; специфічні особливості виробництва.

Н. Н. НЕМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, Н. С. ЦАПКО**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОПУТСТВУЮЩИХ ПЛАСТОВЫХ ВОД НАФТОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В материалах статьи рассмотрены возможности определения моделей экологически безопасных процессов исследования сопутствующих пластовых вод нефтесодержащих месторождений. Разработки проведены с целью выбора современных высокоэффективных научно обоснованных комплексных технологий отрасли: 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей компонентов; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, основанных на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблемы создания экологически безопасных технологий рассматриваются в виде сложных комплексных процессов, их исследований, анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих. Проанализированы условия применения свойств моделей и их параметры, сформированы рекомендации для выбора модели для конкретной среды нефтесодержащих месторождений.

Ключевые слова: экологически безопасные модели; комплексные технологии отрасли; специфические особенности производства.

N. NIMETS, T. V. BRUSENTSEVA, N. TSAPKO**COMPREHENSIVE ANALYSIS SOME MODELS ENVIRONMENTAL SAFETY OF RELATED FOUNDATION WATERS OIL-AND-GAS CONDENSATE FIELDS**

The materials presented of complex analysis innovative development is devoted to improving the environmental safety of the return of oilfield produced water to the bowels of oil-and-gas fields. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific heat exchange stages; 2) at different stages of design and justification of equipment models. Examples and some features of possible solutions are presented, which are based on experimental data of the development of process mechanisms and their scientific substantiation in the form of objects of technology. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies develop and become more complex, energy needs increase greatly; identified possible areas of work in obtaining the necessary information and results. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources. The subject of the study is the environmentally friendly return of oilfield produced water to the bowels with the release of iron hydroxide and the extraction of iodine.

Дієм штеґаґаґ' сґаґаґіоґ аґґ ішґіаґіаґ баґаґаґ аґ соґе'аґ'аґ

рґаґаґіаґ іо лоп рґаґ  s of production.

Вступ. Підвищенню екологічної безпеки процесу повернення супутньо-пластових вод у надра нафтогазоконденсатних родовищ з видаленням сполук заліза й вилученням йоду озонуванням – актуальна задача визначення алгоритму взаємодії складових роботи газоконденсатних родовищ. Об'єктом дослідження є екологічно небезпечний процес повернення супутньо-пластових вод в надра. Предмет дослідження полягає у встановленні комплексних закономірностей процесу повернення супутньо-пластових вод у надра та підвищення його

екологічної безпеки [1–5, 10–12].

З метою встановлення комплексних закономірностей процесу повернення супутньо-пластових вод у надра автором проведено експериментальний аналіз компонентного хімічного складу супутньо-пластових вод ряду вітчизняних родовищ. Дослідження, перш за все, були направлені на вибір складових наукового обґрунтування за показниками зменшення часу осадження завислих речовин за рахунок утворення при озонуванні

© Німець Н.М., Брусенцева Т.В., Цапко Н.С., 2020

гідроксиду заліза (III), їх сумісності з пластовими водами поглинаючого пласта, що далі було оцінено за критеріями підвищення екологічної безпеки при поверненні у надра.

Попередні дослідження були направлені на експериментальне визначення концентрацій йодид-іонів у супутньо-пластовій воді (СПВ) різних вітчизняних нафтогазоконденсатних родовищ. Загальним критерієм визначення у водах обраних родовищ визначена концентрація йодид-іонів більше 20 мг/дм³, яка є достатньою, для промислового виробництва йоду. Автором встановлені приклади вітчизняних родовищ, які можуть бути сировинною базою для отримання йоду. Вміст йодид-іонів деяких родовищ, зокрема Горобцівського, Медведівського сягає концентрації 198 мг/дм³, що дає змогу оцінити кількість отримання йоду на рівні ~ 48 т, тільки з одного Медведівського нафтогазоконденсатного родовища.

Загальна характеристика об'єктів моделей дослідження, обладнання і методи аналізу. З метою дослідження використано модельні суміші СПВ, до складу яких входять, мг/дм³: I^- – 10–150, Br^- – 400–800, $NaCl$ – 10000–323000, Fe^{2+} – 0–66. Для забезпечення необхідних концентрацій йодид-іонів використано KI марки х.ч., бромід-іонів – KBr марки х.ч., Fe^{2+} -іонів – $FeSO_4$ марки ч., $NaCl$ марки ч. Для розробки тестових методів було використано наступні реактиви: натрію нітрит, х.ч.; калію йодид, х.ч.; калію йодат, х.ч.; калію бромат, ч.д.а.; флуоресцеїн, ч.д.а.; сульфатна кислота концентрована ($\rho = 1,83$ г/см³), х.ч.; калію гіпохлорит, насичений розчин; натрію форміат, х.ч.; амонію молібдат, х.ч.; метиловий рудий ч.д.а.; крохмаль водорозчинний, х.ч.; кислота борна, насич.

розчин; натрію тиосульфат, $c = 0,1$ моль/дм³; папір фільтрувальний; пінополіуретан (листовий, білого кольору, товщина 1 см).

Для визначення характеристик моделей використано СПВ, які характеризуються за хімічними методами наступним складом:

- Машівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 10,1$; $[Br^-] = 126$; $[Fe^{2+}] = 34$; мінералізація $M = 123100$; $pH = 5,9$;

- Меліхівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 49,9$; $[Br^-] = 785$; $[Fe^{2+}] = 46$; $M = 202000$; $pH = 4,8$;

- Юліївського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 50$; $[Br^-] = 800$; $[Cl^-] = 148086$; $[SO_4^{2-}] = 215$; $[HCO_3^-] = 220$; $[Ca^{2+}] = 536$; $[Mg^{2+}] = 4256$; $[Fe^{2+}] = 42$; $[Fe^{3+}]$ – відс.; $M = 253000$;

- Медведівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 150$; $[Br^-] = 1820$; $[Fe^{2+}] = 428$; $M = 320000$; $pH = 5,7$.

Вибір об'єктів моделей дослідження сучасного екологічного стану ґрунтується на засадах [1–12] (табл. 1):

1) підземні води мають різний хімічний склад – вони відносяться до поліінгредієнтних поліютантів, які проявляють високу геохімічну активність і токсичність;

2) до їх складу входять нафтові вуглеводні, солі різних металів і механічні домішки, які під час поглинання ґрунтами, надходячи в ґрунтові води, різко змінюють їх хімічні і фізико-хімічні властивості;

3) показниками вищевказаних властивостей визначено: сольовий склад, лужність, реакцію ґрунтових суспензій, ґрунто-поглинаючий комплекс;

4) показниками їх впливу – порушення водно-повітряного режиму і вуглець-азотного балансу, зміна структуру ґрунту [10–12].

Таблиця 1. Вихідні дані моделей оцінювання сучасного екологічного стану використання супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ

Об'єкти дослідження	Характеристика супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ - Загальна характеристика і хімічний склад супутньо-пластових вод.
Комплексний аналіз об'єктів дослідження	Розповсюдження йоду в водах нафтогазоконденсатних родовищ та оцінювання впливу супутньо-пластових вод на навколишнє середовище, наприклад, іони хлору, кальцію, магнію, натрію, стронцію та ін.
Аналіз технології повернення СПВ у надра	За відомою технологією повернення СПВ у надра відбувається після тривалого відстоювання, що при зростаючому обсязі надходження СПВ зростають ризики забруднення навколишнього середовища рядом небезпечних речовин.
Критерії аналізу екологічної безпеки	Екологічна безпека технології поводження з супутньо-пластовими водами – повернення супутньо-пластових вод в надра
Критерії вибору СПВ-переробки	Екологічна безпека технології отримання йоду з супутньо-пластових вод, виробництво якого в Україні відсутнє.
Різновиди особливостей СПВ-переробки	З бурових вод в інших країнах вилучають йод з використанням екологічно небезпечних хлороводневої і сульфатної кислот, сірки діоксиду з утворенням осадів, які можуть блокувати повернення СПВ у надра і створювати аварійні ситуації.
Особливості СПВ-переробки	Вивчення сумісності СПВ і пластових вод для видалення сполук заліза та вилученні йоду шляхом озонування СПВ.

Розробка тестових методів для експрес-контролю компонентів СПВ.

Як відомо, тестові методи – це прості, портативні, дешеві експресні методики для

встановлення присутності і аналізу речовин без складних підготовки зразків, лабораторного обладнання, обробки результатів та підготовленого спеціально персоналу [10–12].

Як відомо, основна мета тест-методів – це швидка оцінка присутності, напівкількісне та кількісне визначення контрольованих компонентів з використанням відомих хімічних реакцій і селективних, часто фіксованих іммобілізованих, реагентів в умовах та формі, що забезпечують легко візуальний ефект, наприклад забарвлення [12].

Похибка при візуальних оцінках, не зважаючи на суб'єктивність, не більша похибки інструментального визначення, наприклад мініфотометром. Метод колориметрії дозволяє створити рівно контрастну колориметричну шкалу, яку розрізняє око людини. Для цього готують ряд стандартів у геометричній прогресії з кроком 2 чи 3. Якщо не відома концентрація C_x знаходиться між n і $n+1$ членами ряду стандартів, то згідно правил використання колірної шкали: $C_x = (C_n + C_{n+1})/2$, а $\Delta C = (C_n - C_{n+1})/2$. В цьому випадку максимальну відносну похибку оцінюють згідно формули:

$$S_r = \frac{\Delta c}{c_x} = \frac{(c_{n+1} - c_n)}{(c_{n+1} + c_n)}, \quad (1)$$

При постійному зниженні концентрації компонента досягається область, в межах якої може бути як позитивний, так і негативний результат. Цей діапазон концентрацій називають інтервалом ненадійності, довжина якого характеризує аналітичні можливості метода [64]. Нижче цього інтервалу знаходяться концентрації, достовірність реакції для яких близька до 0, вище – концентрації, які визначаються з вірогідністю близькою до 1.

Для порівняння тест-систем використовують не абсолютні величини інтервалу ненадійності, а відносні [10–12]. За відносну ширину інтервалу приймають відношення різниці верхньої і нижньої меж до величини нижньої межі інтервалу ненадійності. Підходи до оцінки нижньої межі C_n з похибкою 33 % висвітлено в [10–12] та зводяться до експериментального визначення стандартного відхилення візуального визначення компонента поблизу нормованої концентрації з заданою довірчою вірогідністю [10–12].

Результати визначення вмісту йодид-іонів в водах тестовим методом і методом окислювально-відновлювального титрування.

Для перевірки правильності тест-методу було проведено аналіз модельних розчинів, що містять йод. Отримані результати були співставлені з даними окислювально-відновлювального титрування. Результати визначення йодид-іонів в модельних розчинах наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати визначення вмісту I^- в модельних розчинах

Зразок	Титрування ($n = 3$)	Тест-метод ($n = 12$)
	$c(I^-)$, мг/дм ³	$c(I^-)$, мг/дм ³
№1	10,02±0,06	10±3
№2	5,04±0,09	5±2

Ці результати добре сходяться між собою, що дозволяє зробити висновок о правильності визначення йодидів за допомогою розробленого тест-методу. Для аналізу були надані зразки СПВ Юліївського НГКР, які були підготовлені згідно методики.

Результати визначення йодид-іонів в зразках СПВ наведено у таблиці 3, свідчить про те, що результати сходяться.

Таблиця 3. Результати визначення вмісту I^- в зразках СПВ

Зразок	Титрування ($n = 3$)	Тест-метод ($n = 12$)
	$c(I^-)$, мг/дм ³	$c(I^-)$, мг/дм ³
№1	16,0±0,08	13±3
№2	7,19±0,09	6±1
№3	7,04±0,15	5±1

Таким чином, розроблено тест-метод для аналітичного контролю йодид-іонів, що значно скорочує час проведення досліджень у порівнянні з гіпохлоритним методом визначення йоду при одночасній присутності бром. Тест-система ефективна при великих надлишках бром. Зазначений метод придатний для визначення йодид-іонів в СПВ і контролю залишкового вмісту йодид-іонів після озонування.

Використання СПВ разом з збільшенням глибини переробки вуглеводнів може знизити капітальні і експлуатаційні витрати на 40 % і 60 %, відповідно, та покращити екологічну безпеку. Ці води підпадають під корисні копалини, використання яких регламентується державними документами: «Класифікація експлуатаційних запасів і прогнозних ресурсів підземних вод», «Інструкція по застосуванню класифікації запасів підземних вод стосовно родовищ промислових вод», «Тимчасові вимоги до вивчення і підрахунку запасів супутніх вод газових, газонафтових родовищ, як джерела мінеральної сировини», затверджених Головною комісією запасів України у 1983р., 1984 р., 1992 р., відповідно.

Найбільш перспективним, на даний час, за вмістом йодид іонів до 198 мг/дм³, за розташуванням на території Харківської області, значним можливим дебітом СПВ (12 м³/доб.) є тільки з св. 63 є Медведівське ГКР. Далі розглянуто та досліджено використання саме СВП цього родовища.

За рахунок представлених досліджень екологічна безпека підвищується як на стадії підготовки при поверненні СПВ у надра за рахунок пришвидшеного озонування утворення осаду гідроксиду заліза (III) і впровадження експресних тестових методів, визначення осадоутворюючих компонентів та вдосконалення визначення умов їх сумісності з пластовими водами, так і на стадії одержання йоду за рахунок заміни ряду шкідливих екологічно небезпечних реагентів на озоніоповітряну суміш.

Повернення СПВ у надра вважається більш раціональним та екологічно безпечнішим, ніж їх очищення та знешкодження. Разом з тим реалізація переробки є більш привабливішою, але вона не повинна суперечити діючим нормативам, а навпаки має бути економічно вигідною для додаткових інвестицій, кредитів та податкових пільг, як це передбачено Законом України [11].

Повернення супутньо-пластових вод у надра є частиною технологічного процесу видобутку вуглеводнів і направлене на досягнення екологічної безпеки території і гідродинамічної рівноваги у пластах. Досвід повернення СПВ у нафтогазовидобувній галузі свідчить про те, що основні ускладнення при поверненні можуть викликати випадання в осад гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), карбонатів кальцію (CaCO_3) і магнезії (MgCO_3), гідроксиду заліза, що визначається, головним чином, кількісним співвідношенням зазначених компонентів, які містяться в СПВ і водах поглинаючих пластів. Слід зазначити, що випадання в осад карбонатів кальцію і магнезії відбувається у лужному середовищі. Приймальна здатність свердловин, що експлуатують карбонатний колектор, практично не знижується при наявності в СПВ кислій реакції середовища. Величини pH для пластових вод характеризують середовище як кислотне (значення $pH \approx 4,5-6,8$), у якому карбонати в осад не випадають, тому мінімальні показники pH СПВ не повинні бути меншими за характерні для пластових вод значень 4,5–6,8 [10–12].

Хімічний аналіз СПВ газових і нафтогазоконденсатних родовищ під час їх

експлуатації вказує на те, що в їхньому складі відсутній карбонат-іон. Він також відсутній і в пластовій воді поглинаючих пластів. Це значить, що при змішуванні СПВ із пластовими водами поглинаючого пласта, в процесі повернення карбонати кальцію і магнезії не будуть утворюватися. Тому основними утворювачами осадів можуть бути сульфати кальцію, магнезії та гідроксиди заліза. Дослідження сумісності вод необхідно для того, щоб запобігти передчасній коагуляції привибійної зони поглинаючого пласта в нагнітальній свердловині та забезпечити її тривалу роботу без помітного зниження приймальності і без нанесення шкоди навколишньому середовищу. Одним із компонентів, який знаходиться у складі пластових вод усіх родовищ України є вільна вуглекислота, концентрація якої коливається від 50 до 700 мг/дм³, і яка обумовлює вказані вище величини pH СПВ нафтогазоконденсатних родовищ України.

Фізико-хімічні властивості СПВ в цілому відповідають властивостям пластових вод продуктивних горизонтів. У процесі видобутку газу або нафти ця вода додатково забруднюється інгібіторами гідратуутворення та корозії, поверхнево-активними речовинами, продуктами корозії обладнання, нафтопродуктами та іншими домішками.

Для оцінки сумісності визначають хімічний склад вод родовища і хімічний склад СПВ.

Хімічний склад супутньо-пластових вод, розглянемо на прикладі СПВ Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 4).

Таблиця 4. Фізико-хімічний склад супутньо-пластових вод св.63 Медведівського родовища

Аніон	Концентрація			Катіон	Концентрація		
	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	% екв.		мг/дм ³	мг-екв/дм ³	% екв.
HCO_3^-	817,4	13,4	0,12	Ca^{2+}	44488,8	2220,0	20,64
CO_3^{2-}	відс.	-	-	Mg^{2+}	4920,0	410,0	3,82
Cl^-	189925,0	5350,0	49,76	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	63153,4	2745,8	25,54
SO_4^{2-}	595,2	12,4	0,12	Сума	112562,2	5375,8	50,0
Сума	191337,6	5375,8	50,0				
I^-	173,3			Fe^{2+}	396		
Br^-	1482,6			Fe^{3+}	63,5		
H_2S	відс.			CO_2	118		

Таблиця 5. Фізико-хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту на глибині 1181-1179 м

Густина, г/см ³	pH	Хімічний склад, мг/дм ³							
		Мінералізація, мг/дм ³	аніони				катіони		
			Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1,047	6,3	166434,4	101805,6	59,7	305,00	відс.	59276,5	3406,8	1580,8

*Сірководень (H_2S) – відсутній

Загальна мінералізація цієї води складає 303899,0 мг/дм³, густина 1,226 г/см³, величина pH 5,5, зважені речовини 315 мг/дм³.

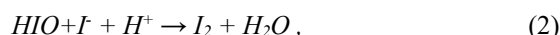
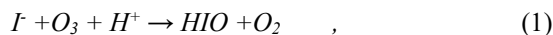
Для порівняння хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту приведено на прикладі тріасового горизонту Кобзівського родовища, де

обладнано пункт повернення СПВ в тому числі і тих, що надходять з Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 5). Відповідно до хімічних аналізів мінералізація вод (табл. 4 і 5), дозволяє віднести їх до мінералізованих вод. Водневий показник pH характерний для

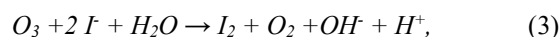
мінералізованих вод слабкокислої реакції середовища. Вірогідність активних хімічних процесів у такому водному середовищі зведені до мінімуму.

Для того, щоб вияснити можливі екологічні наслідки від вилучення йоду з СПВ озонуванням необхідно знати ті комплексні умови технологічного процесу, за яких йодид-іони перетворюються у йод та яка кількість озону, як екологічно небезпечної речовини, може поступати в навколишнє середовище (табл. 6).

При взаємодії озону з йодид-іонами у кислотному середовищі протікають реакції [102]:



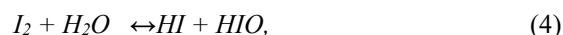
Крім того, якщо врахувати присутність води, то реакцію озонування йодид-іонів можна записати у вигляді:



При цьому змінюється величина pH , що зумовлено тим що, під час перебігу реакції появляється гідроксильний іон і середовище повинно залужуватись.

Це підтверджується залежністю ступеня утворення йоду від величини pH (рис. 1), з якої видно, що при зростанні величини pH ступінь утворення досягає максимуму, а потім знижується при наближенні до нейтрального середовища.

У нейтральному і лужному середовищі в результаті гідролізу йоду може відбуватися перетворення йоду у йодид-іон з паралельним утворенням йодної і йодноватистої кислоти:



Тому за існуючими способами [30] вилучення йоду з використанням хлороводневої чи сульфатної кислот, хлору чи натрію гіпохлориту підтримують сильно кисле середовище – $pH \approx 12$ та не допускають утворення нейтральних чи лужних середовищ.

Таблиця 6. Вихідні дані моделей одержання йоду з супутньо-пластових вод методом озонування

Показник	Комплексна характеристика аналізу процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном
Об'єкти дослідження	Супутньо-пластові води нафтогазоконденсатних родовищ за попереднім аналізом на відповідність нормативно-технічній документації.
Комплексний хімічний аналіз вилучення йоду при обробці озоном	Визначення мольно-іонного співвідношення між реагентами процесу; концентрації йодид-іонів, бромід-іонів, іонів заліза у СПВ; ступеню мінералізації, та ін.
Комплексний технологічний аналіз процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном	Визначення часу обробки СПВ озоном; відповідність за кислотністю середовища; екологічна безпека технології поводження з супутньо-пластовими водами
Комплексний кінетичний аналіз процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном	Визначення поверхні контакту між гетерогенними фазами; швидкість реакції та ін.
Критерії вибору СПВ-переробки	Екологічна безпека технології отримання йоду з супутньо-пластових вод, виробництво якого в Україні відсутнє.

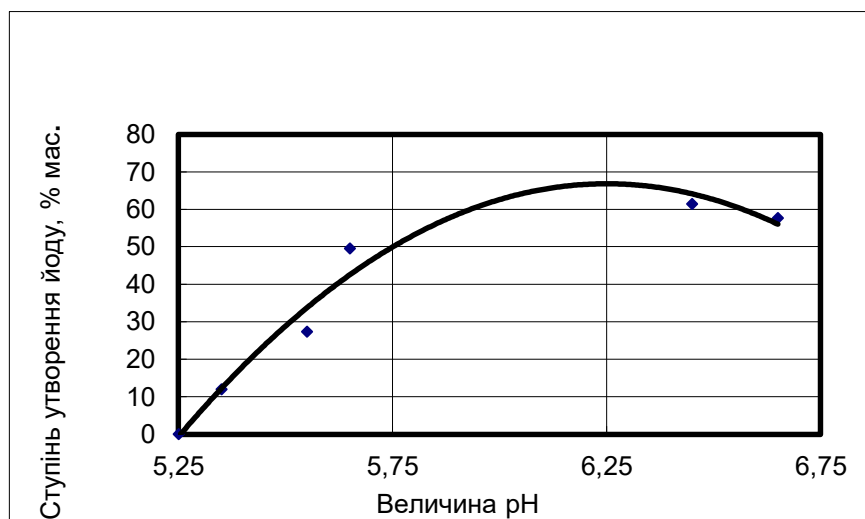


Рис. 1. Залежність між змінами величини pH і ступенем утворення йоду при озонуванні мінералізованої води: $[I^-] = 50 \text{ мг/дм}^3$, $M = 200 \text{ г/дм}^3$

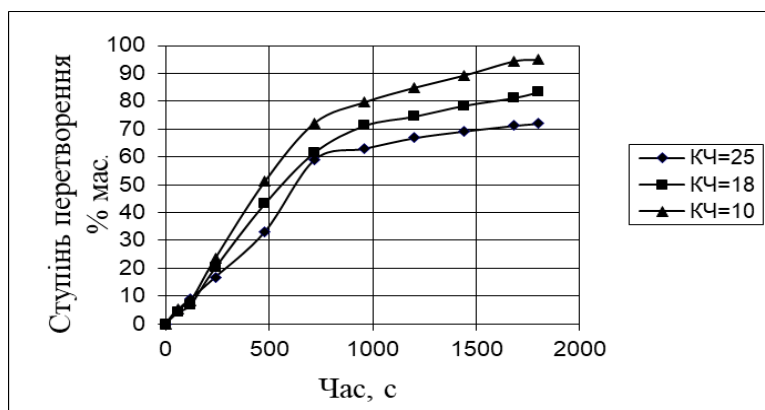


Рис. 2. Зміни ступеня перетворення йодид-іонів від часу і кислотності при співвідношенні озон: I^- 1:1.

Одержані експериментальні результати (рис. 2) свідчать про те, що з збільшенням часу обробки води озонופовітряною сумішшю і змінах кислотності середовища у бік до нейтрального, ступінь перетворення йодид-іонів збільшується. При цьому збільшення часу обробки впливає на ступінь перетворення йоду більше, ніж зміни кислотності (рис. 2). Дослідженнями встановлено, що у більшості залежності змін ступеня утворення йоду характеризується екстремумами, які змінюються при змінах часу озонування, кислотності, мінералізації, концентрації іонів. Встановлено, що ступінь утворення йоду збільшується зі збільшенням мінералізації та поверхні контакту між гетерогенними фазами.

Теоретично передбачено і експериментально визначено, що величина константи швидкості реакцію озонування I^- більше $7 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$, а тому її можна віднести до миттєвих реакцій, а технологічний процес не залежить від температури і часу перебігу реакції та визначається дифузійною озоном. Доведено, що під час озонування частина утвореного йоду видаляється з зони реакції газоповітряним потоком.

Встановлено, що ступінь утворення йоду з води Медведівського ГКР за рахунок високої мінералізації лінійно залежить від мольно-іонного відношення реагентів і досягає максимального 100 % значення при МІВ 1,4. При проведенні досліджень встановлено, що процес одержання йоду з супутньо-пластових вод за запропонованою технологією надає можливість підвищення порівняно з відомими технологіями екологічної безпеки за рахунок заміни низькоконцентрованою озонופовітряною сумішшю таких небезпечних речовин, як хлороводнева, сульфатна кислоти, хлор, сірки діоксид, гіпохлорит і натрію гідроксид.

Технологічний процес отримання продукту у вигляді кристалічного йоду, наприклад, можна вдосконалити за рахунок заміни сульфатної кислоти підігрітої вище 100°C на вуглеводні і застосування способу низькотемпературної кристалізації.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Треба відзначити, що шляхом дослідження сумісності супутньо-пластових

вод і вод поглинаючого пласта при різних співвідношеннях і концентраціях встановлено, що у ряді вибраних родовищ повернення цих вод у надра не спричинятиме випадіння осадів сульфатів і карбонатів, що забезпечує безпечні умови повернення, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій, потрапляння супутньо-пластових вод у навколишнє середовище і таким чином сприяє підвищенню екологічної безпеки.

Для оперативного визначення сумісності запропоновано використовувати залежності між концентраціями іонів і співвідношенням супутньо-пластові води та води поглинаючого пласта. Розроблено тест-методи оцінки концентрацій йодид-іонів та іонів заліза з використанням іммобілізованого пінополіуретану та тест-метод визначення концентрації сульфат-іонів в порівнянні з нормованими концентраціями, що забезпечують більш швидкий контроль якості вод і підвищують екологічну безпеку при поверненні озонованих супутньо-пластових вод у надра, за рахунок зниження ризику виникнення аварійних ситуацій.

Виконано аналіз технології повернення СПВ, зіставлено експериментальні і розрахункові величини ступеня утворення йоду, експериментально доведено, що реакція озонування йодид-іону належить до миттєвих, оцінено вплив іонів бромиду на вилучення йоду. Одержані результати щодо утворення йоду озонуванням СПВ, що містять йодид-іони, науково обґрунтовують можливість створення ефективної більш екологічно безпечної технології отримання йоду в порівнянні з відомими. Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології й впровадження її на Україні [13–16].

Список літератури

1. Воронов А.Н., Тудвачев А.В. Извлечение промышленных компонентов из попутных нефтяных вод. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhs.spb.ru. 2014.
2. Басков Е.А., Суриков С.Н. / Гидротермы Земли. –Л.: Недра, 1989. 245 с.
3. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. // Химия и технология брома, йода и их соединений. М.: Химия, 1995, 300 с.

4. Кiekлаев М.А. Способ извлечения йода / М.А. Кiekлаев, П.А. Пономарева, Э.В. Строева // Авт. свид. 1161459, С 01 В 7/14, оп. 15.06.85, БИ 22. yandex.ua/images.
5. Власов Г.А. Способ извлечения йода из буровых вод / Г.А.Власов, Н.Д. Бушина, Г.И.Буравцева, Л.В. Мухаметшина // RU 2186721. C01B7/14. публ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
6. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. / Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1990, с. 262–269.
7. J. Beltran-Heredia, J. Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
8. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone // J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp. 10971–10979.
9. Худошин А.Г. Реакции озона с модельными соединениями лигнина в восходящем двухфазном потоке // А.Г. Худошин, А.Н. Митрофанова, В.В. Лунин. МГУ им. М.В. Ломоносова / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
10. Немец Н.Н. О превращении йодид-ионов попутно-пластовых вод газоконденсатных месторождений в йод под воздействием озона. Вісник НТУ «ХПІ». Харків, 2016. №16 (1191), с. 14–18.
11. Німець Н.М., Мельник А.П., Подустов М.О. Екологічна безпека супутньо-пластових вод і одержання йоду. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – Х., 2016. Вип.45, с. 159–168.
12. Німець Н.Н., Брусенцева Т.В., Німець О.Д. Підвищення екологічної безпеки видобування вуглеводнів шляхом вивчення сумісності супутньо-пластових вод при поверненні в надра. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2019. №15 (1340), с. 42–50.
13. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах: Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
14. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
16. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.І. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах (учебное пособие) / Москва ИНФРА-М, 2015. С. 447.
2. Baskov E.A., Surikov S.N. / Gidrotermy Zemli. – L.: Nedra, 1989. 245 p.
3. Ksenzenko V.I., Stasinevich D.S. // Himija i tehnologija broma, joda i ih soedinenij. M.: Himija, 1995, 300 c.
4. Kieklaev M. A. Sposob izvlechenija joda / M.A. Kieklaev, P.A. Ponomareva, Je.V. Stroeve // Avt. svid. 1161459, C 01 B 7/14, op. 15.06.85, BI 22. yandex.ua/images.
5. Vlasov G.A. Sposob izvlechenija joda iz burovih vod / G.A.Vlasov, N.D. Bushina, G.I.Buravceva, L.V. Muhametshina // RU 2186721. C01B7/14. публ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
6. Reznikov A.A., Mulikovskaja E.P., Sokolov I.Ju. / Metody analiza prirodnih vod. M.: Nedra, 1990, c. 262–269.
7. J.Beltran-Heredia, J.Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
8. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone//J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp. 10971–10979.
9. Hudoshin A.G. Reakcii ozona s model'nymi soedinenijami lignina v voshodjashhem dvufaznom potoke // A.G. Hudoshin, A.N. Mitrofanova, V.V. Lunin. MGU im. M.V. Lomonosova / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
10. Nemec N.N. O prevrashhenii jodid-ionov poputno-plastovih vod gazokondensatnyh mestorozhdenij v jod pod vozdejstviem ozona. Visnik NTU «HPI». Harkiv, 2016. №16 (1191), pp. 14–18.
11. Nimec' N. M., Mel'nik A.P., Podustov M.O. Ekologichna bezpeka suputn'o-plastovih vod i oderzhannja jodu. Visnik HNU im. V.N. Karazina. Serija «Geologija. Geografija. Ekologija». – Harkiv, 2016. Vip.45, c. 159–168.
12. Nimec' N.N., Brusenceva T.V., Nimec' O.D. Pidvishennja ekologichnoї bezpeki vidobuvannja vuglevodniv shljahom vivchennja sumisnosti suputn'o-plastovih vod pri povernenni v nadra. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI», 2019. №15 (1340), pp. 42–50.
13. Tovazhnyanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
14. Tovazhnyanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. 352 p.
15. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
16. Tovazhnyanskij L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo S.I. [Obschaya khimicheskaya tehnologija v primerah, Zadachah, Laboratornih rabotah i tekstah (uchebnoe posobie)] General Chemical Engineering in the examples, problems, laboratory work and testing (manual). Moskov INFRA-M, 2015. 447 p.

References (transliterated)

1. Voronov A.N., Tudvachev A.V. Izvlechenie promysh-lennyh komponentov iz poputnyh nefjanyh vod. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhspp.ru. 2014.

Надійшла (received) 19.10.20

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Німець Наталія Миколаївна (Немец Наталья Николаевна, Nimets Natalia) – кандидат технічних наук, начальник відділу, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: ecolog.2601@gmail.com

Брусенцева Тетяна Володимирівна (Брусенцева Татьяна Владимировна, Brusentseva Tatiana Volodumirovna) – начальник сектору, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: tattjana@ukr.net

Цапко Наталія Сергіївна (Цапко Наталья Сергеевна, Tsapko Nataliia) – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, Україна; e-mail: tsapko@niiep.kharkov.ua